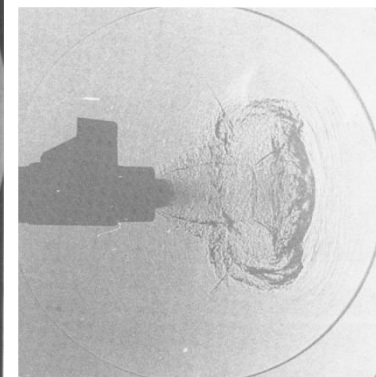
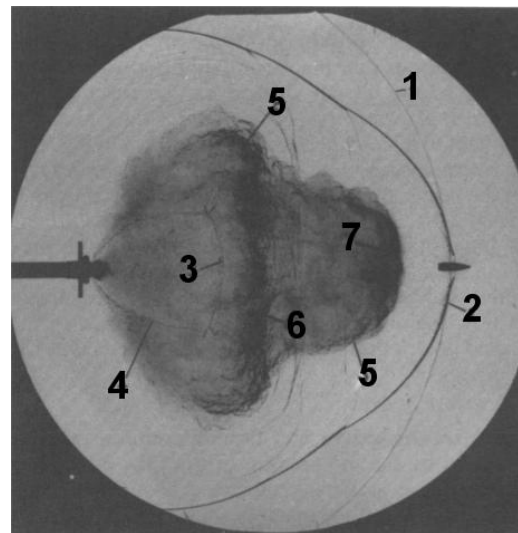
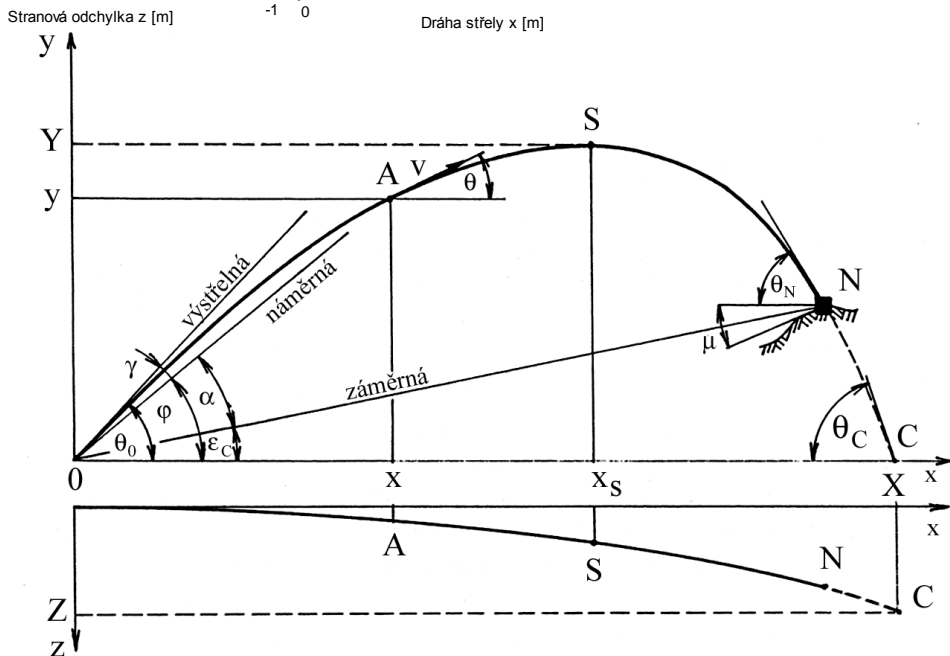
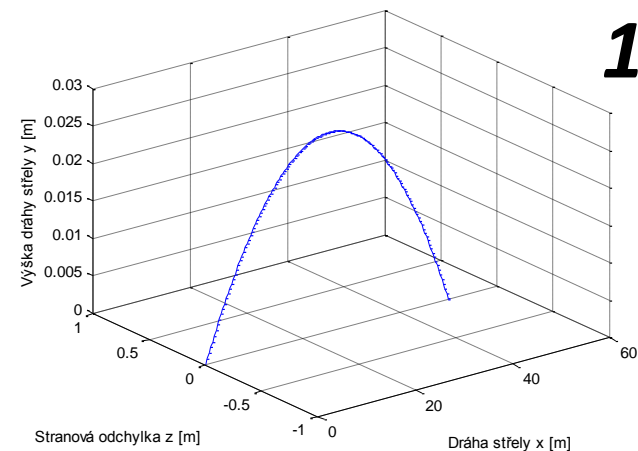




VUT v Brně

Fakulta strojního inženýrství

10 Přechodová a vnější balistika HPZ



Róbert Jankových
(jankovych@fme.vutbr.cz)

Brno, 13. listopadu 2012

PREZENTACE ZBROJOVEK na FSI

- 23.11.2012 – CT5 8.00-12.00
- **Posluchárna P3**

- 8.00-8.30 AlfaProj
- 8.30-9.00 Zbrojovka Brno
- 9.00-9.30 Prototypa
- 9.30-10.15 Zbrojovka U.B.
- 10.15-11.00 Sellier&Bellot
- 11.00 – 12.00 individuální jednání



Studijní literatura

<https://e-ballistics.com>

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
Fakulta strojního inženýrství
Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky



Hlavní zbraně a střelivo



Róbert Jankovych

BRNO 2012

Vnější balistika a teorie střelby

MINISTERSTVO NÁRODNÍ OBRANY
Výzbrojná správa

Plk. doc. Ing. Čestmír Jirsák, CSc.
Plk. doc. Pravoslav Kodým, CSc.

© Čestmír Jirsák, Pravoslav Kodým 1984
Preface © Ladislav Matějka 1984

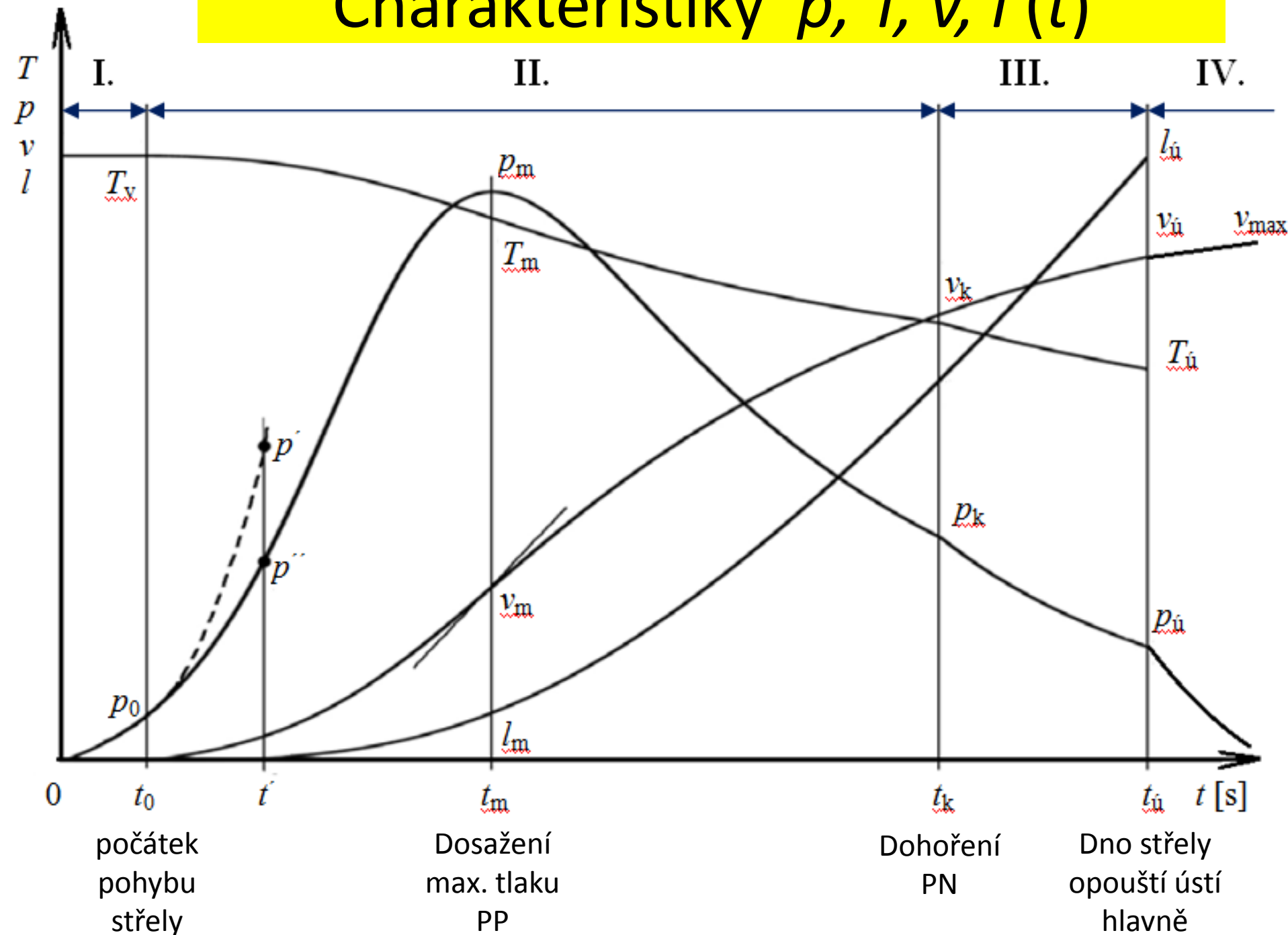
Osnova

- Základy přechodové balistiky
 - ✓ Ústíová charakteristika zbraně
 - ✓ Expanze na ústí hlavně
- Základy vnější balistiky
 - ✓ Počáteční rychlost střely
 - ✓ Úhel výstřelu
 - ✓ Balistický koeficient
 - ✓ Model pohybu střely v atmosféře

Časové úseky výstřelu (periody)

- **I. perioda** – od okamžiku zážehu prachové náplně do počátku pohybu střely: zažehnutí, vzplanutí a počátek hoření prachové náplně v konstantním objemu (pyrostatika)
- **II. perioda** – od počátku pohybu střely do okamžiku dohoření prachové náplně: zaříznutí vodících částí střely do přechodového kužele (u jednotného náboje) a postupný pohyb střely ve vodící části vývrtu hlavně, hoření prachové náplně v proměnném objemu (pyrodynamika)
- **III. perioda** – od dohoření prachové náplně do okamžiku, kdy dno střely opouští ústí hlavně: urychlování střely silou expandujících prachových plynů v hlavni (expanze)
- **IV. perioda** – od okamžiku, kdy dno střely opustí ústí hlavně do okamžiku ukončení urychlování střely: urychlování střely silou plynů vytékajících z hlavně (perioda dodatečného účinku plynů - přechodová balistika)

Charakteristiky $p, T, v, l(t)$



Přechodová balistika zkoumá 1/2

- pohyb střely v oblasti dodatečného účinku prachových plynů,
- vliv pohybu hlavně (zbraně) při výstřelu na pohyb střely za ústím hlavně,
- vliv kmitání střely uvnitř hlavně na pohyb střely za ústím hlavně,
- vliv expanze ústového proudu plynů na výlet střely z hlavně, její let k cíli a v případě podkaliberních střel také na oddělení vodících segmentů (pouzdra) střely,
- dynamiku ústového proudu,
- jevy spojené s výtokem prachových plynů včetně popisu ústové charakteristiky zbraně, tj. popis vzniku komplexního ústového proudového pole včetně silných rázových a expanzních vln, elektromagnetického záření, záblesku a dýmu na ústí hlavně,

Přechodová balistika zkoumá 2/2

- možnosti vyhledávání zbraní podle jejich ústových charakteristik,
- vliv ústové charakteristiky zbraně na chování zbraně při výstřelu a následném výtoku prachových plynů z hlavně,
- ústová mechanická zařízení určená pro redukci zákluzu, expanze a záblesku na ústí (ústové brzdy, snižovače ústí, tlumiče plamene, apod.),
- vliv chemických příměsí (aditiv) prachové náplně na potlačení záblesku na ústí,
- vliv chemických příměsí prachové náplně na výkon a ústovou charakteristiku palné zbraně,
- možnosti simulace výtoku prachových plynů včetně záblesku na ústí zbraně atd.

Ústová charakteristika (ústový projev) HPZ

- **expanze na ústí hlavně,**
- **elektromagnetické záření,**
- **záblesk na ústí hlavně,**
- **dým na ústí hlavně.**



Expanze na ústí hlavně (*primární expanzní vlna*)



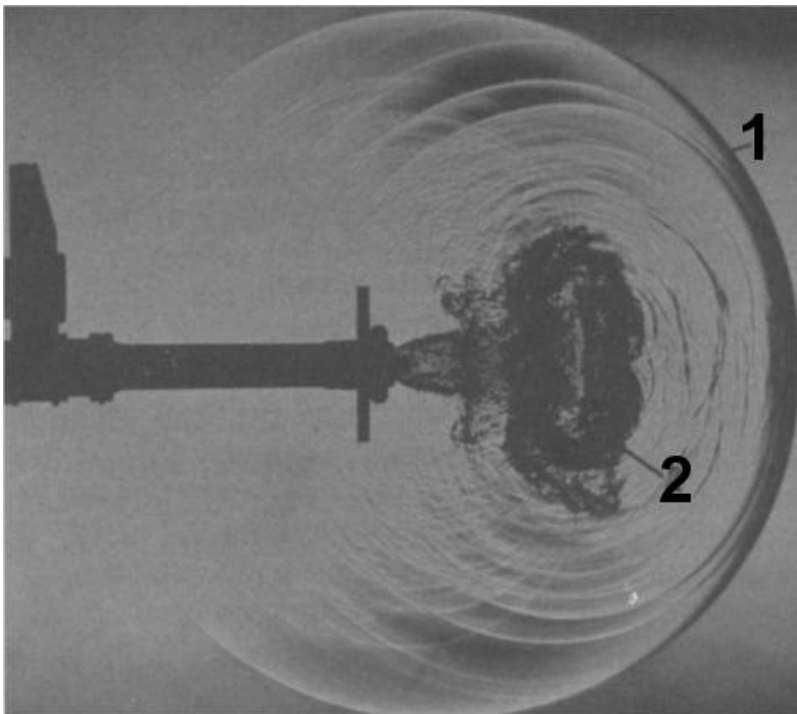
První předcházející proud



Expanzní vlna

Primární expanzní vlna - jevy spojené s rychlým výtokem směsi vzduchu a prachových plynů z hlavně

Sekundární expanzní vlna - jevy spojené s rychlým hořením v průběhu sekundárního záblesku

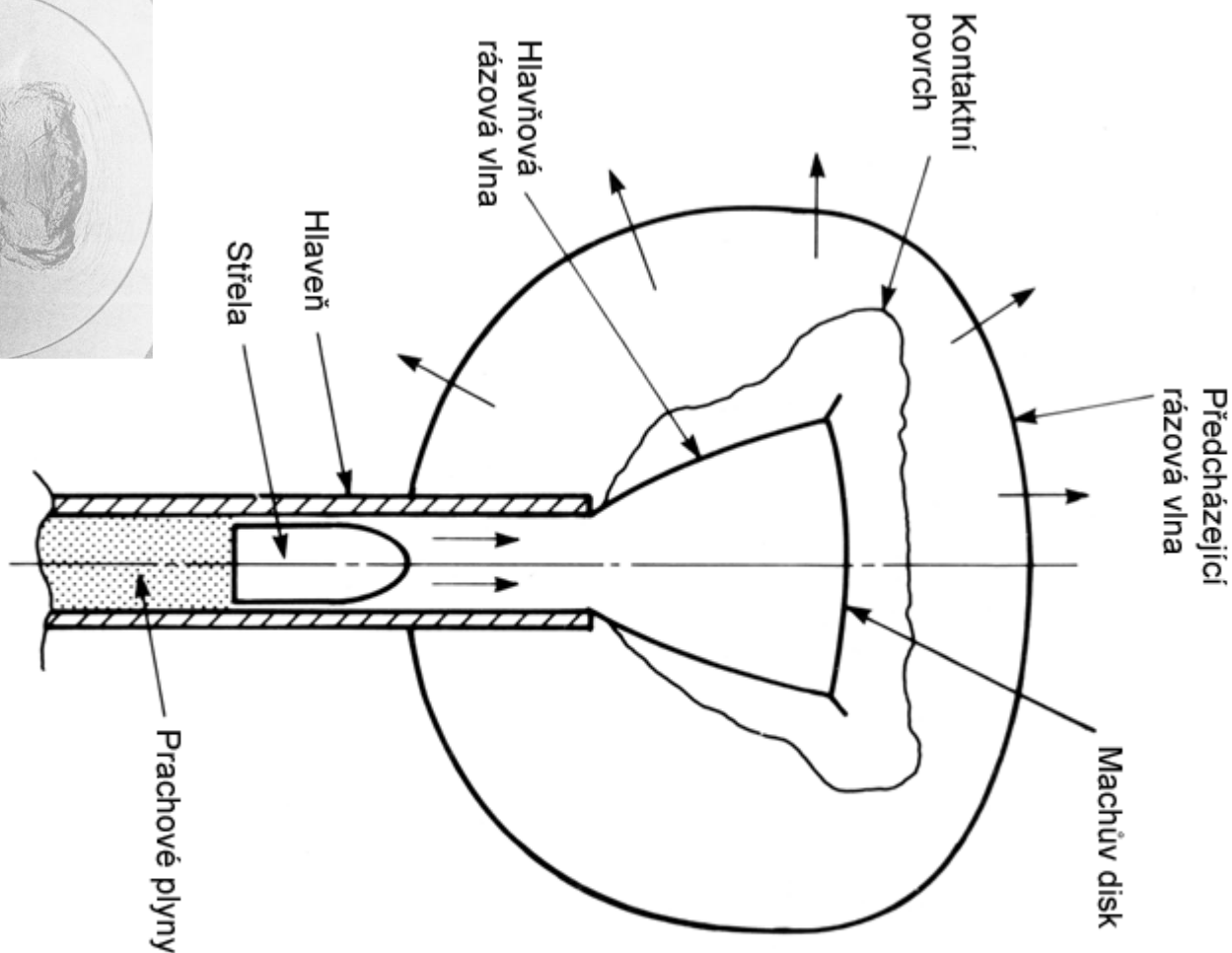
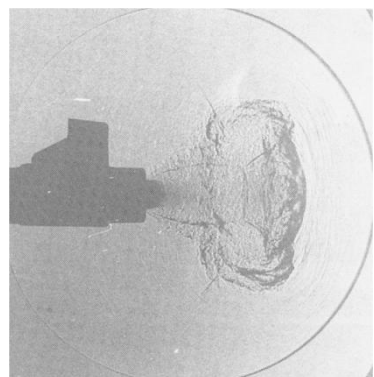


1 - expanzní vlna prvního předcházejícího proudu

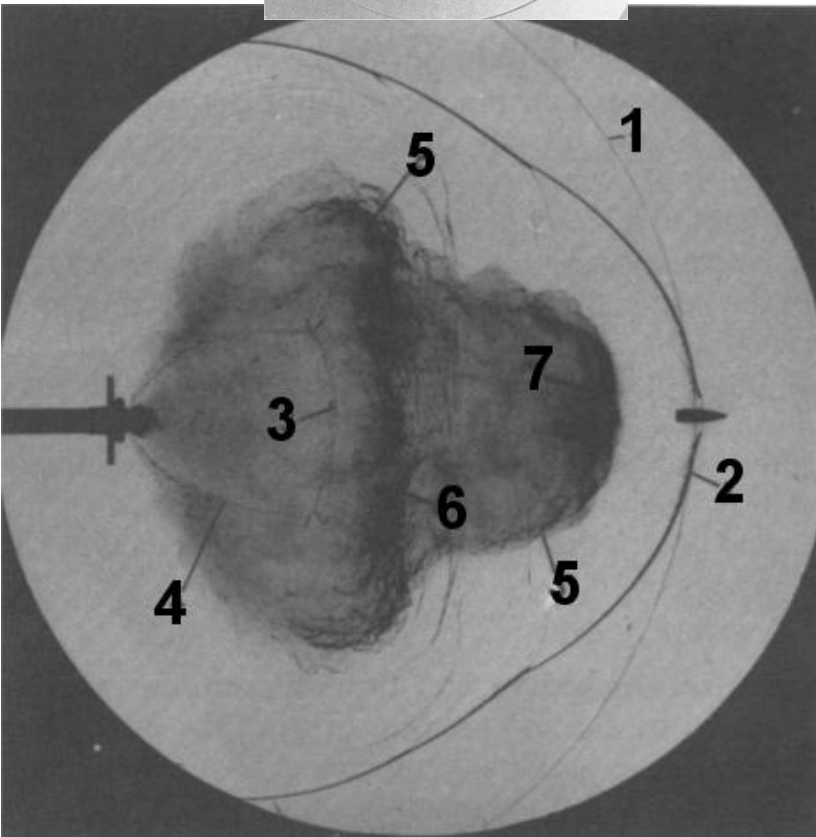
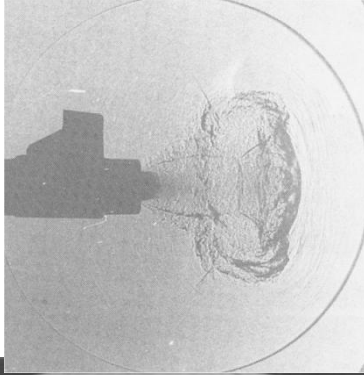
2- turbulentní prstenec druhého proudu

První předcházející proud

150 μs před výletem střely
z hlavně (střela DM 41 ráže
7,62 mm, $v_{\text{ú}} = 800 \text{ m.s}^{-1}$)

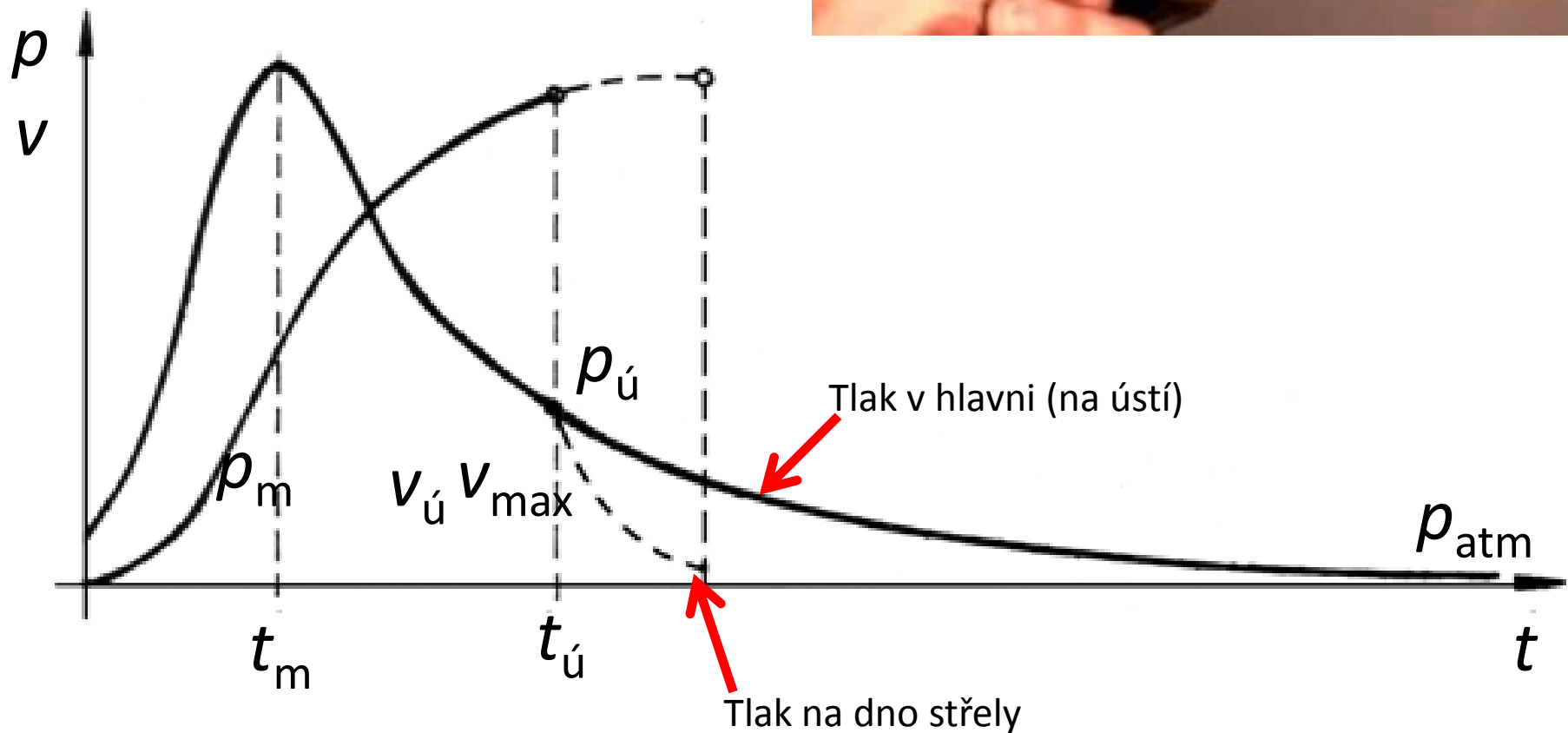


Primární expanzní vlna 2/2



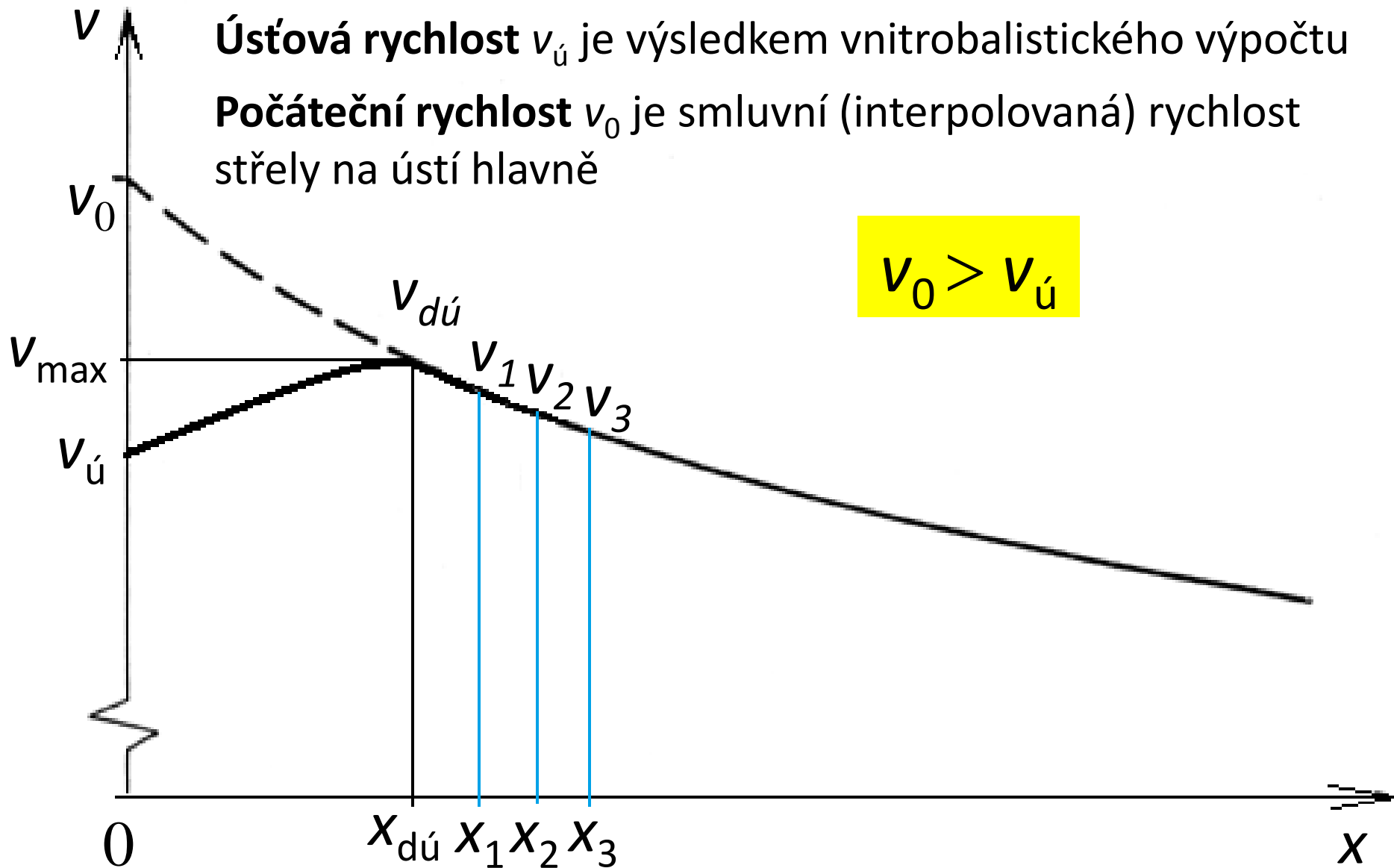
- 1- expanzní vlna prvního předcházejícího proudu,
- 2- expanzní vlna proudu prachových plynů,
- 3- Machův disk,
- 4- hlavňová rázová vlna,
- 5- rozhraní mezi vzduchem a prachovými plyny,
- 6- vířivý turbulentní prstenec,
- 7- oblast zvýšené hustoty plynů

Průběh rychlosti střely a tlaku plynů v hlavni a na dno střely

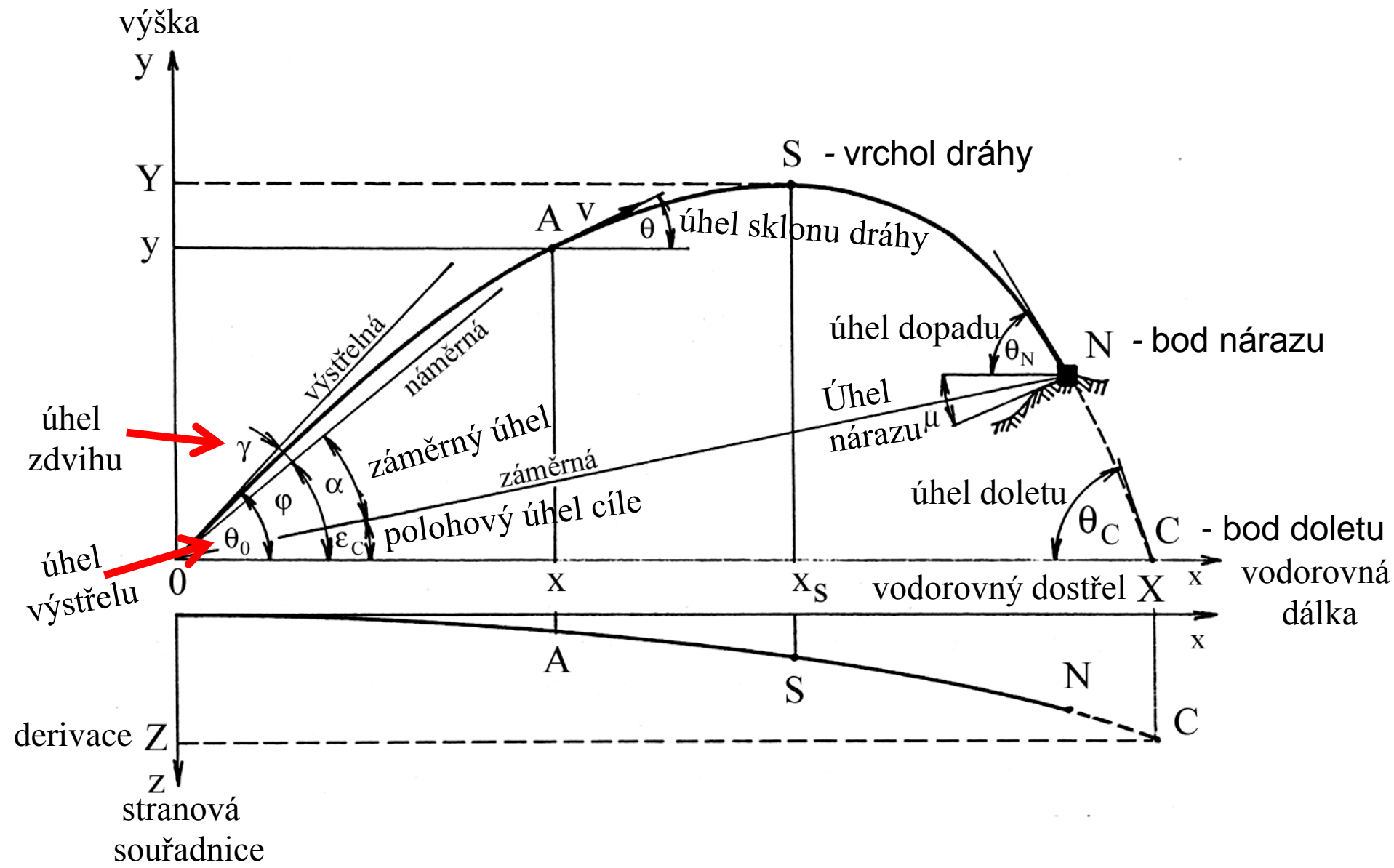


Počáteční rychlost střely

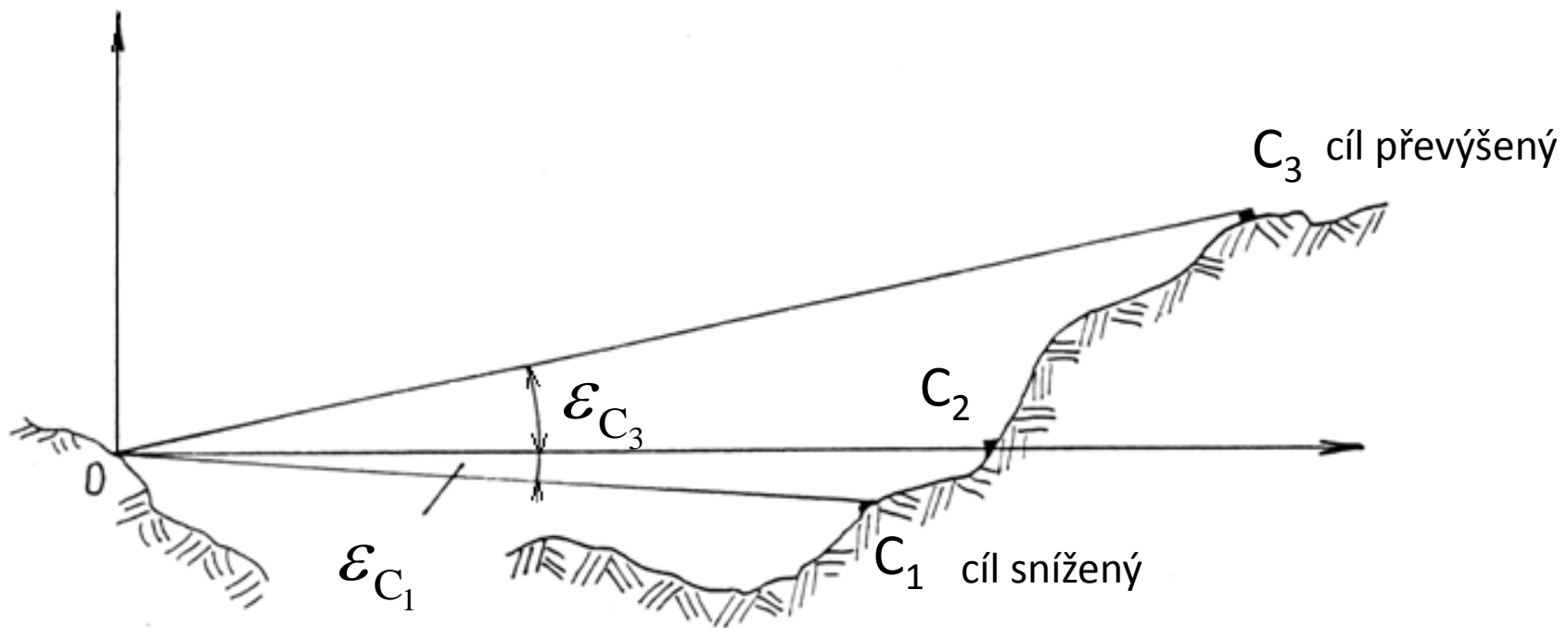
Ústová rychlost v_u je výsledkem vnitrobalistického výpočtu
Počáteční rychlost v_0 je smluvní (interpolovaná) rychlost
střely na ústí hlavně



Dráha střely v atmosféře (balistická křivka)

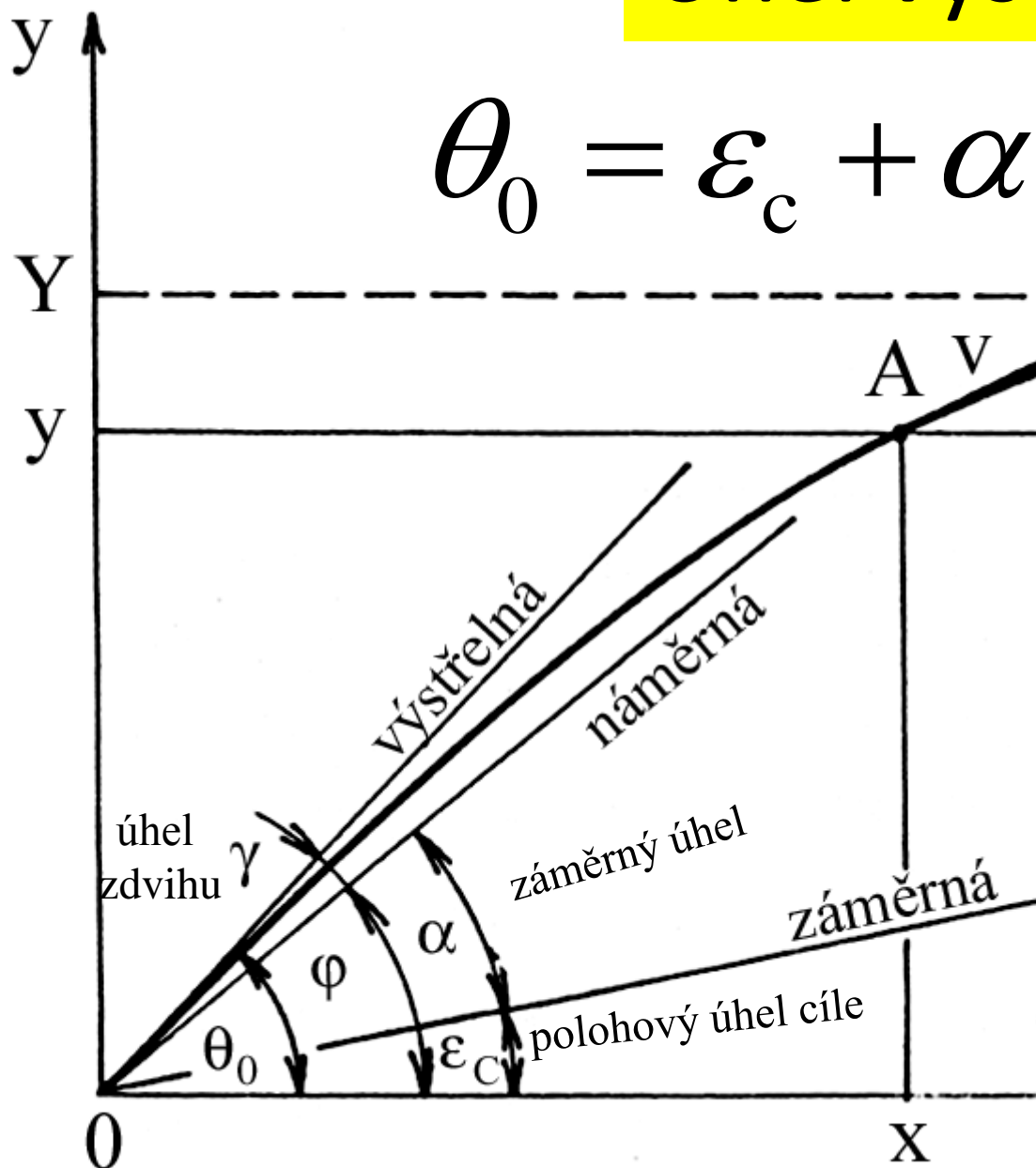


Střelba na cíle s různým převýšením



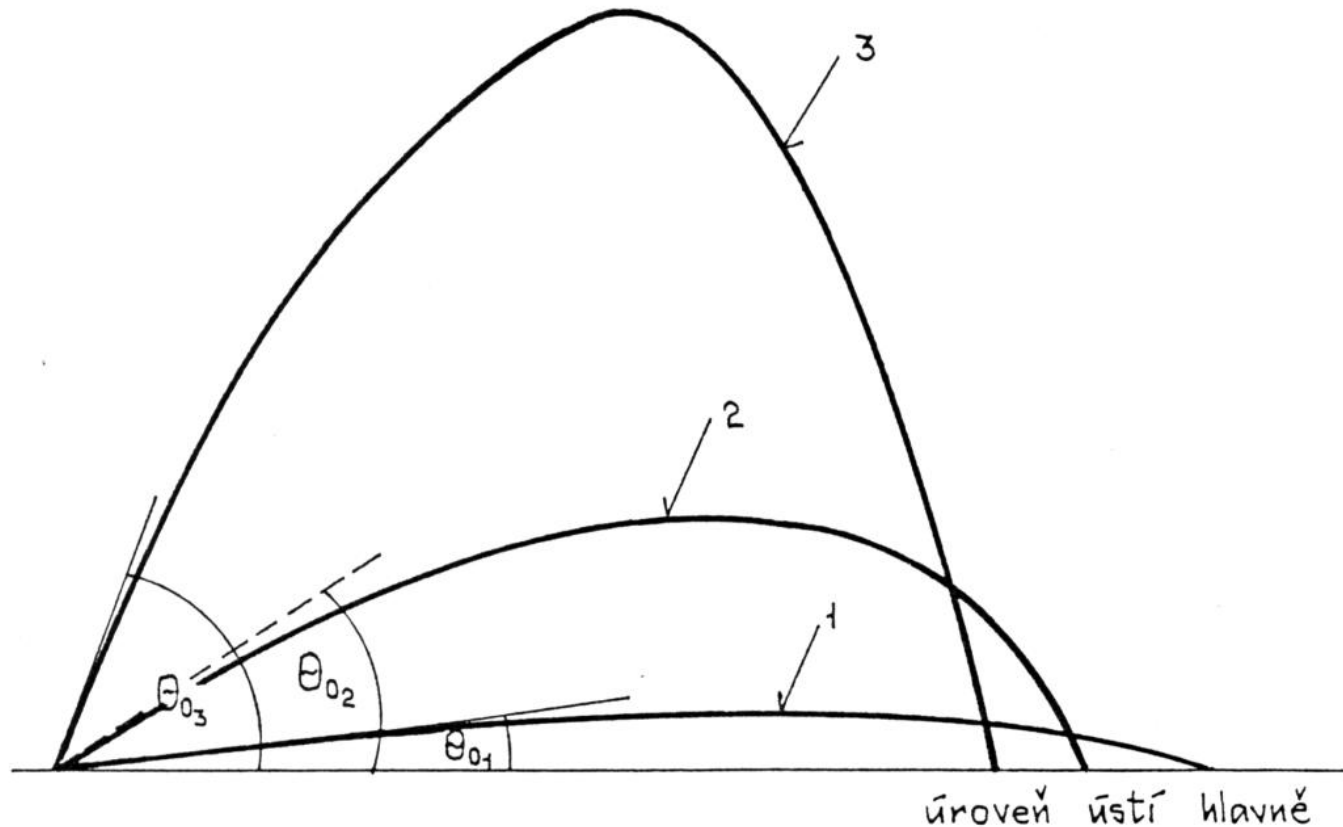
Úhel výstřelu 1/2

$$\theta_0 = \varepsilon_c + \alpha + \gamma = \varphi + \gamma$$

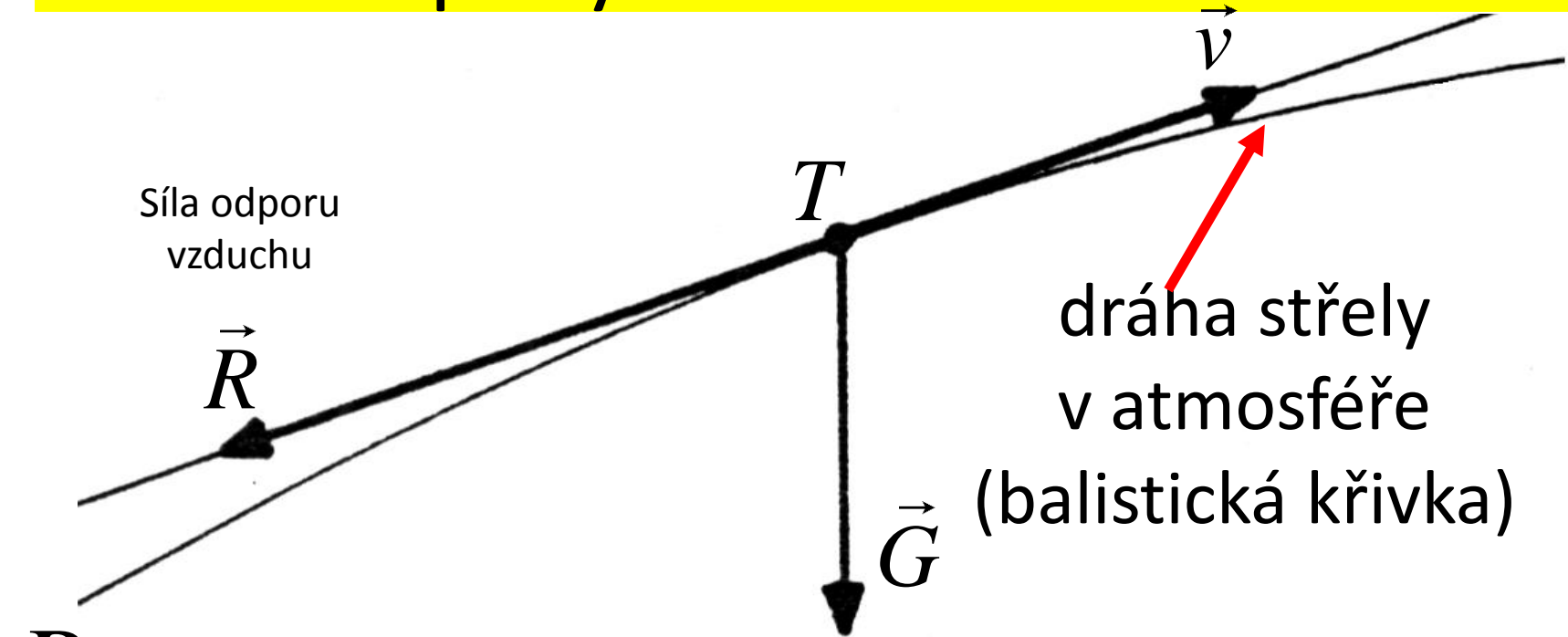


Úhel výstřelu 2/2

- ploché dráhy pro $\theta_0 < 20^\circ$ (v jiné literatuře 15°)
- oblé dráhy pro $20^\circ \leq \theta_0 \leq 45^\circ$
- strmé dráhy pro $\theta_0 > 45^\circ$.



Základní síly působící na střelu při pohybu v atmosféře



$$R = m_q a_R$$

$$R = c_x \frac{\rho v^2}{2} S$$

c_x koeficient čelního odporu vzduchu [-]
v závislosti na rychlosti střely,

S příčný průřez střely [m^2],

ρ hustota vzduchu [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$],

v rychlost střely [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$].

Koeficient čelního odporu etalonové střely

Reálná atmosféra

$$R = c_x \frac{\rho v^2}{2} S$$

$$c_x = \frac{R}{\frac{\rho v^2}{2} S}$$

$c_{x_{et}}(v_\tau)$ pro zákon odporu
vzduchu z roku 1943
(Ruský)

Jiné zákony odporu vzduchu:
Siacciův (Itálie),
Garnier-Dupuis (Francie)

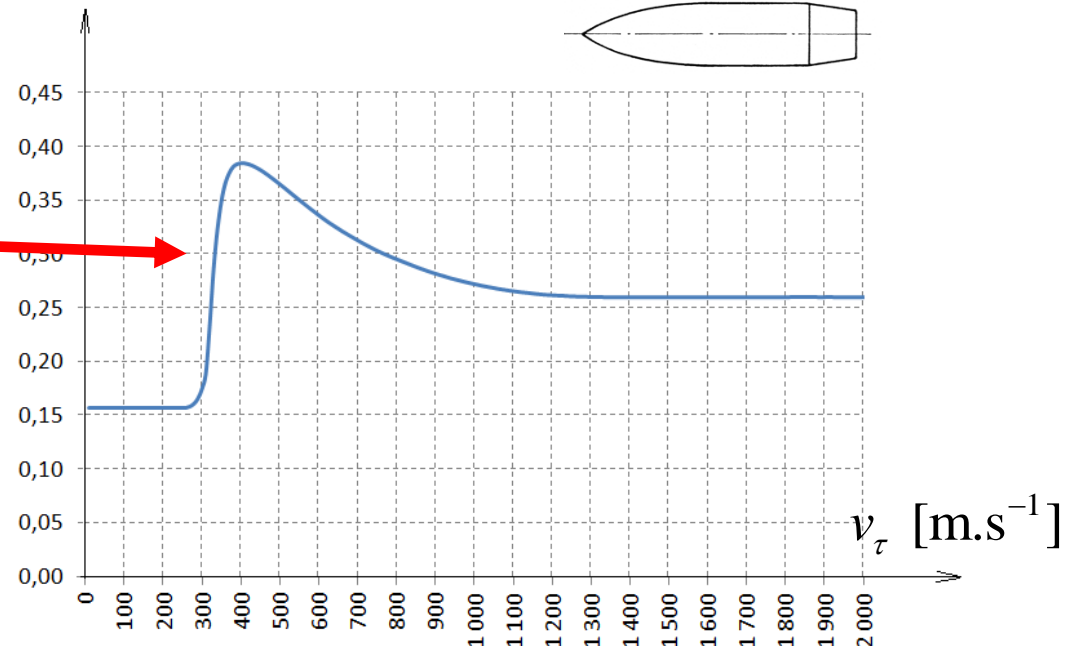
....

Standardní atmosféra

$$v \rightarrow v_\tau = v \sqrt{\frac{\tau_{0N}}{\tau}}$$

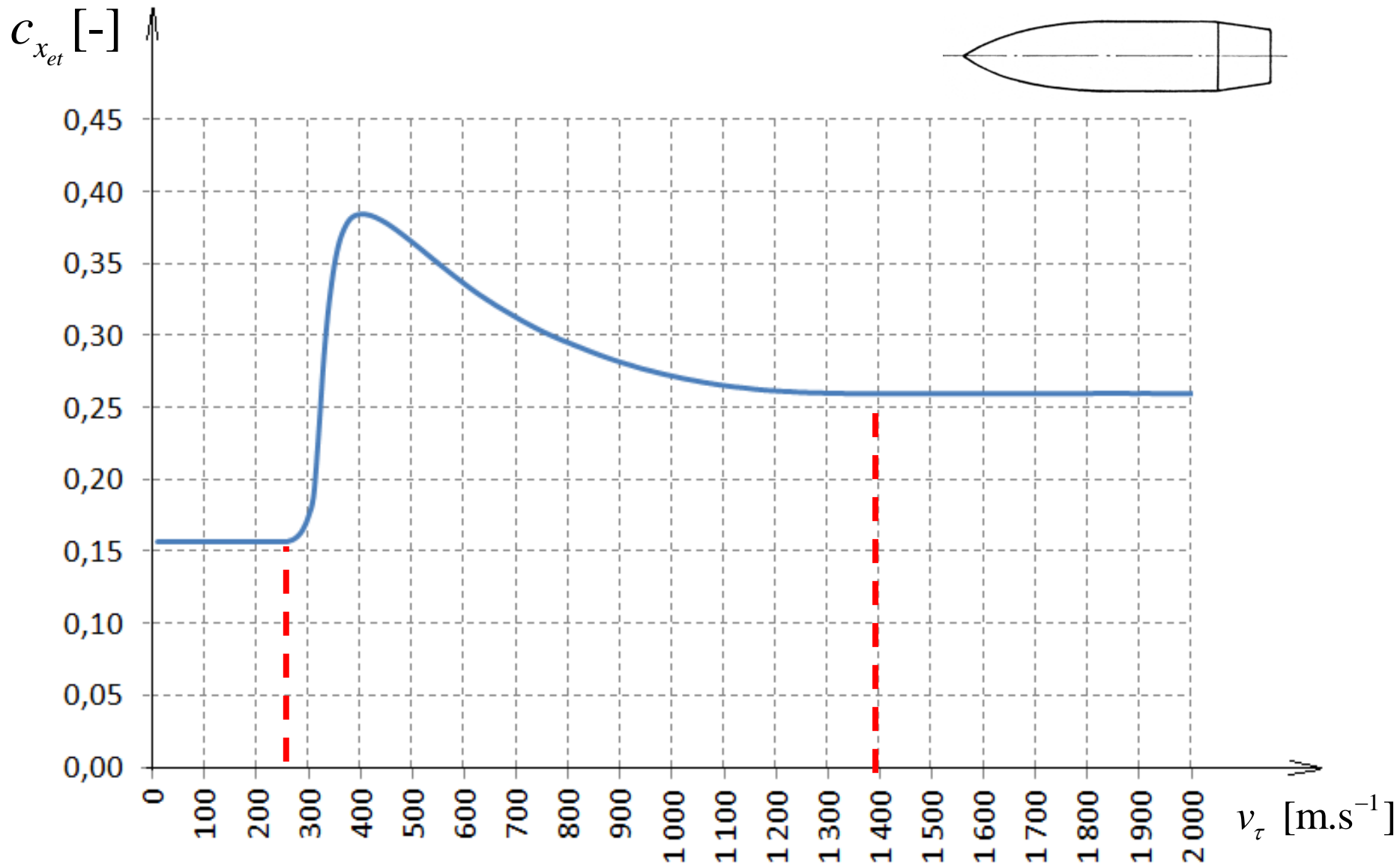
$$c_{x_{et}}(v_\tau) = \frac{R}{\frac{\rho v_\tau^2}{2} S}$$

$c_{x_{et}} [-]$



v - skutečná rychlost střely,
 τ - virtuální teplota vzduchu
 v určitém bodě dráhy,
 τ_{0N} - virtuální teplota vzduchu
 na hladině moře ve standardní
 atmosféře ($\tau_{0N} = 15,9^\circ\text{C}$)

Koeficient čelního odporu - zákon 1943



Funkce odporu vzduchu, balistický koeficient c , součinitel tvaru střely i

$$R = m_q a_R \qquad c_{x_{et}}(v_\tau) = \frac{R}{\frac{\rho v_\tau^2}{2} S}$$

$$a_R = c \frac{p}{p_{0N}} F(v_\tau) \qquad c = \frac{id^2}{m_q} 10^3 \qquad i = \frac{c_x(v_\tau)}{c_{x_{et}}(v_\tau)}$$

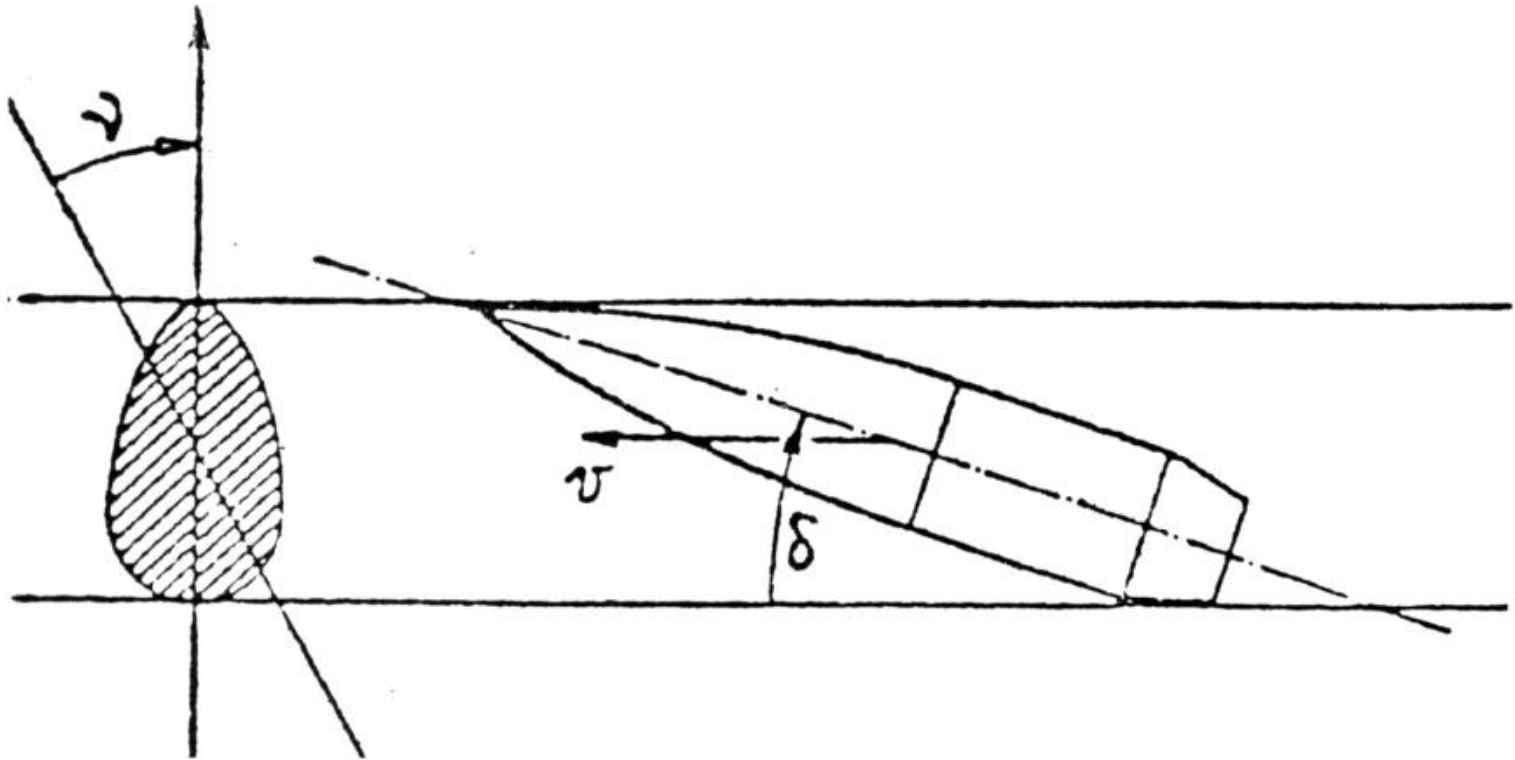
| Náboj | Střela | ráže střely d [mm] | hmotnos t střely m_q [g] | koeficient tvaru i_{43} [-] | balistický koeficient c_{43} [m ² /kg] | počát. rychlost v_0 [m/s] |
|---------------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------------------|---|-----------------------------------|
| 223 Remington | biogivální ostrá špička | 5,56 | 3,6 | 1,0 | 8,59 | 1006 |
| 7,62x39 | monoogivální ostrá špička | 7,62 | 8,0 | 1,3 | 9,44 | 738 |
| 9 Luger | monoogivální zakulacená špička | 9,0 | 7,5 | 1,5 | 16,20 | 390 |
| 38 Special | válcová wadcuter | 9,0 | 9,6 | 1,9 | 16,03 | 213 |

Náboje a jejich balistické charakteristiky (ZOV 1943)

$$c = \frac{id^2}{m_q} 10^3$$

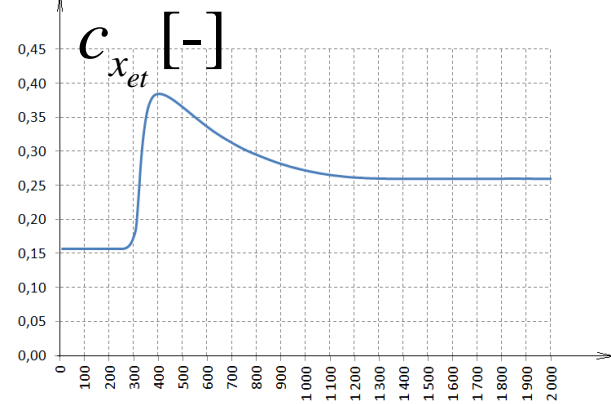
| Náboj | Střela | ráže střely d [mm] | Hmot. střely m_q [g] | Koef. tvaru i_{43} [-] | balistický koeficient c_{43} [m ² /kg] | počát. rychlost v_0 [m/s] |
|---|---|----------------------------|------------------------------|--------------------------------|---|-----------------------------------|
| 223 Remington  |  biogivální ostrá špička | 5,56 | 3,6 | 1,0 | 8,59 | 1006 |
| 7,62x39  |  monoogivální ostrá špička | 7,62 | 8,0 | 1,3 | 9,44 | 738 |
| 9 Luger  |  monoogivální zakulacená špička | 9,0 | 7,5 | 1,5 | 16,20 | 390 |
| 38 Special  |  válcová wadcutter | 9,0 | 9,6 | 1,9 | 16,03 | 213 |

Odporová plocha střely $S(\delta)$



δ - úhel náběhu (u rotačních střel nazývaný úhel nutace),
 ν - úhel precese

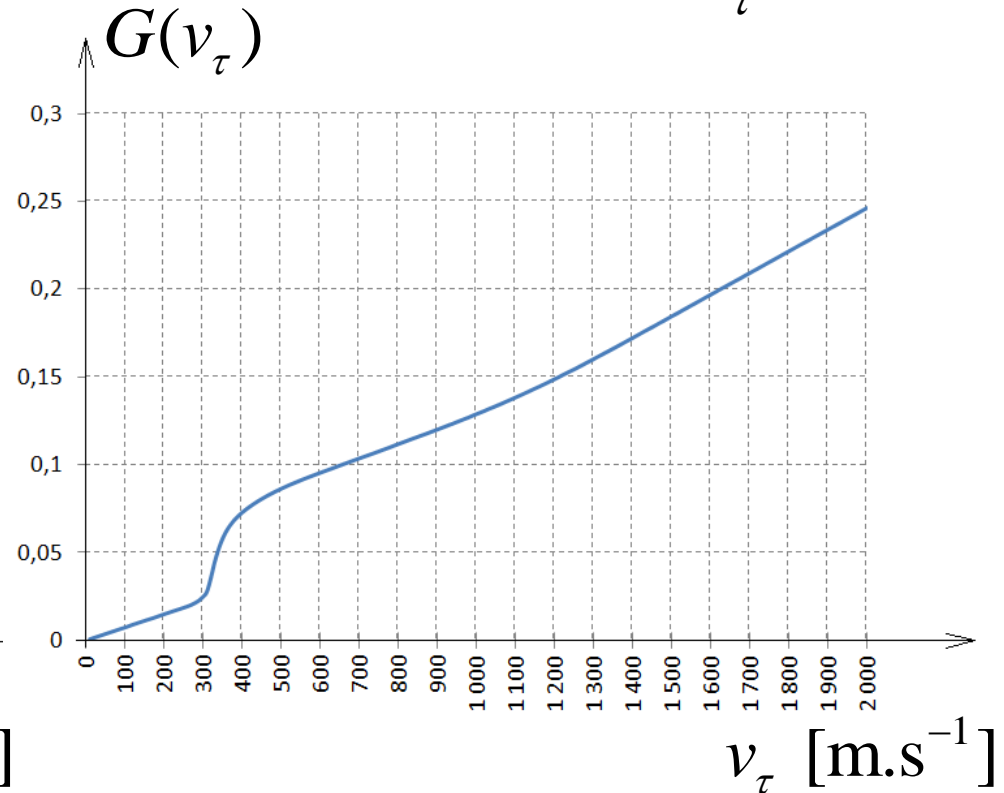
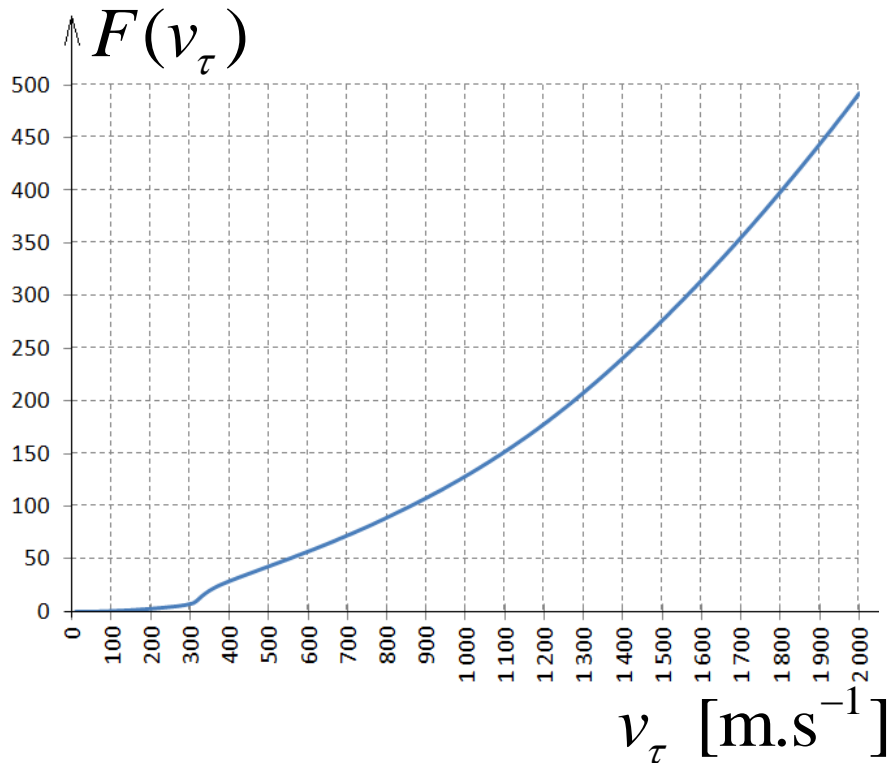
Funkce odporu vzduchu 2/2



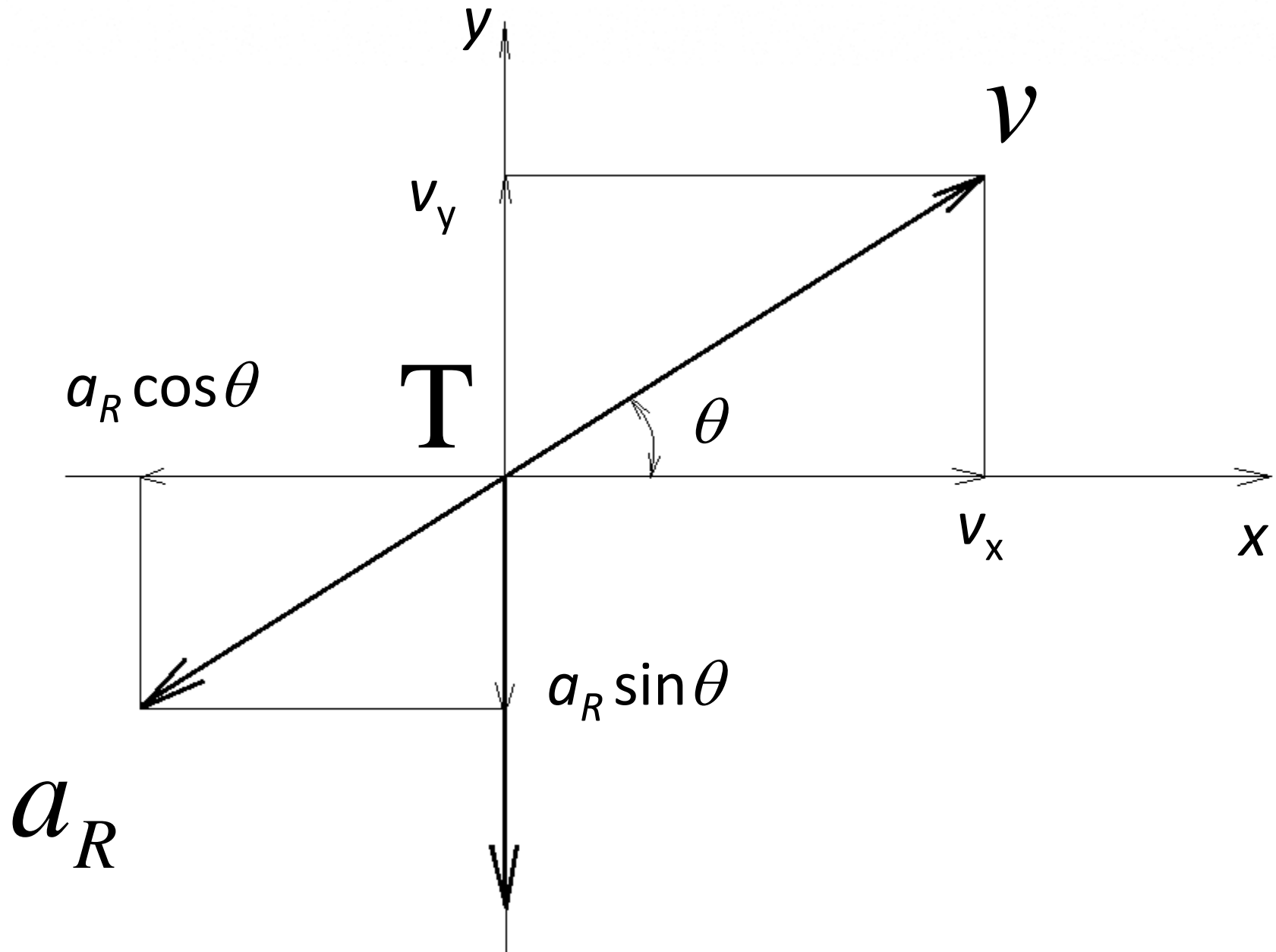
$$a_R = c \frac{p}{p_{0N}} F(v_\tau)$$

$$F(v_\tau) = \frac{\pi}{8000} \rho_{0N} v_\tau^2 c_{x_{et}}(v_\tau)$$

$$G(v_\tau) = \frac{F(v_\tau)}{v_\tau}$$

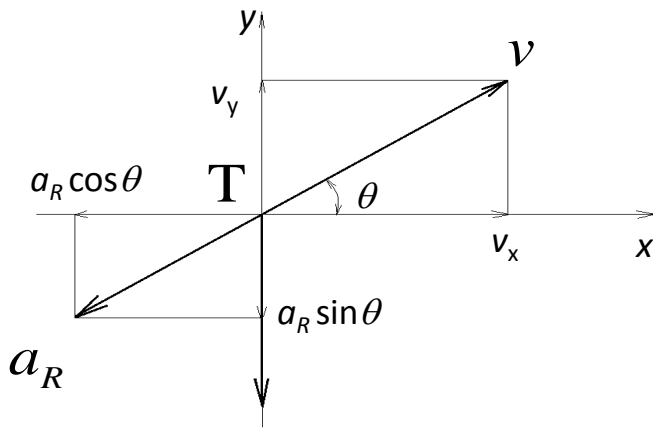


Sestavení pohybových rovnic pro T



Pohybové rovnice vnější balistiky

- počáteční rychlost v_0 ,
- úhel výstřelu = (počáteční úhel sklonu dráhy) θ_0 ,
- balistický koeficient střely c .



$$\frac{d^2 x}{dt^2} = -a_R \cos \theta$$

$$\frac{d^2 y}{dt^2} = -a_R \sin \theta - g$$

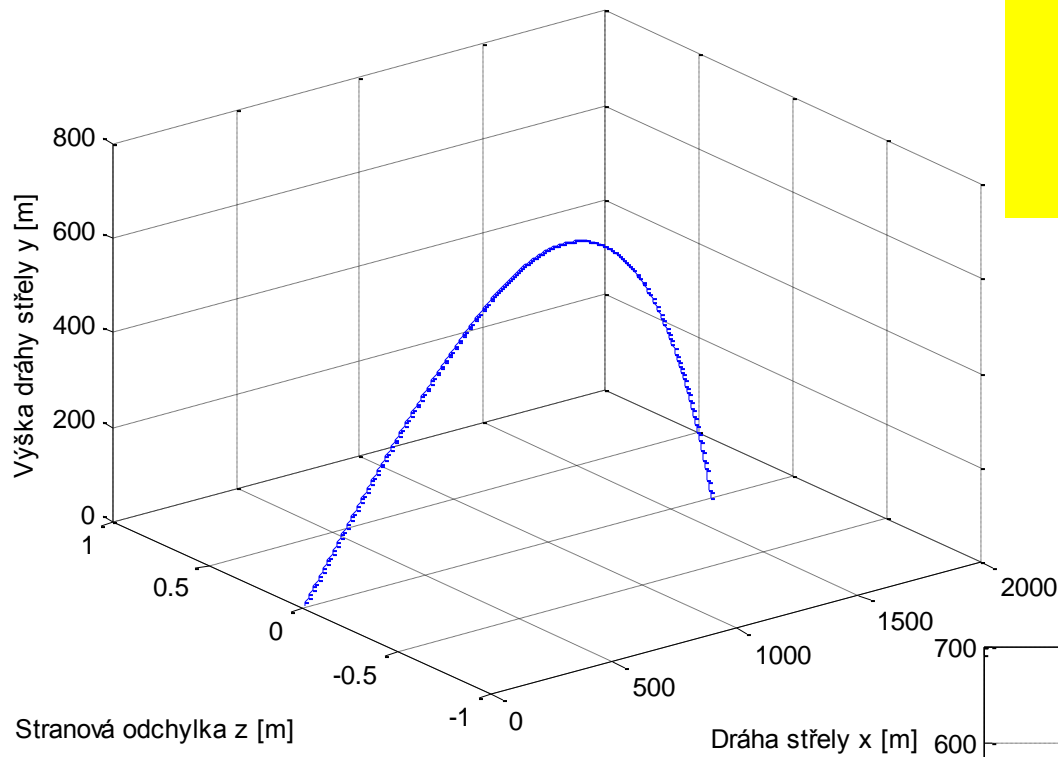
$$v_x = \frac{dx}{dt}$$

$$v_y = \frac{dy}{dt}$$

$$\sin \theta = \frac{v_y}{v}$$

$$v = \sqrt{(v_x^2 + v_y^2)}$$

CZ 85 střelba pod úhlem 40°



$c_{43} [\text{m}^2/\text{kg}] = 14,5$

$v_0 [\text{m/s}] = 360$

$\text{Theta}_0 [\text{deg}] = 40$

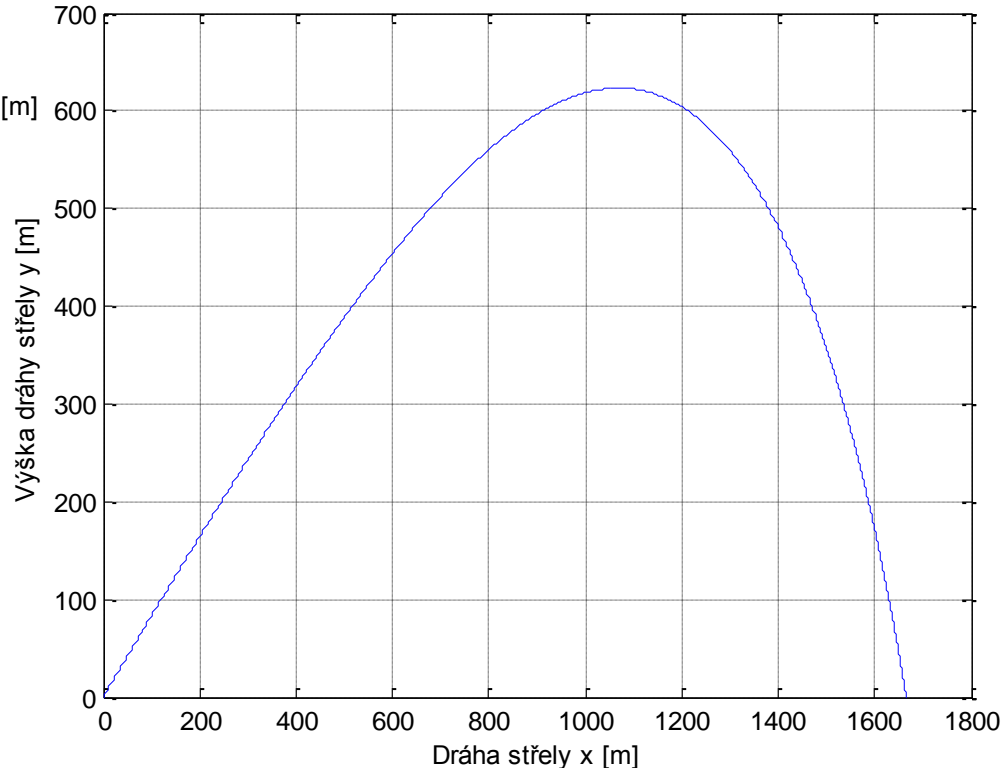
$\text{dostrel} = 1.6656\text{e}+003 \text{ m}$

$\text{vrchol} = 6.233\text{e}+002 \text{ m}$

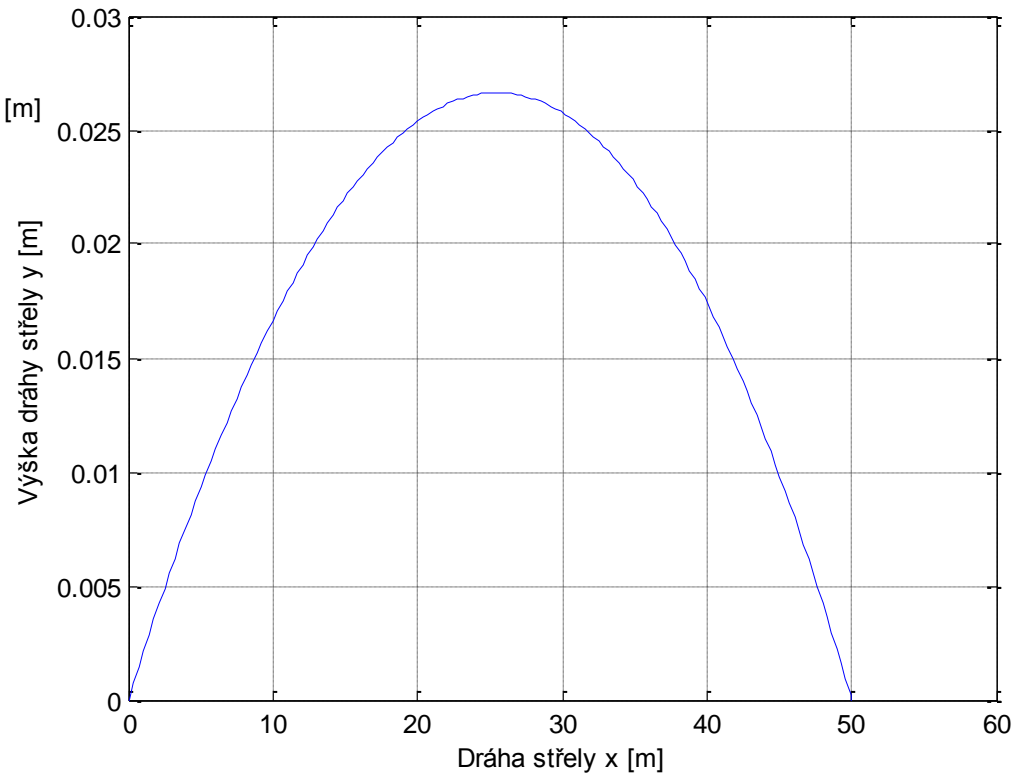
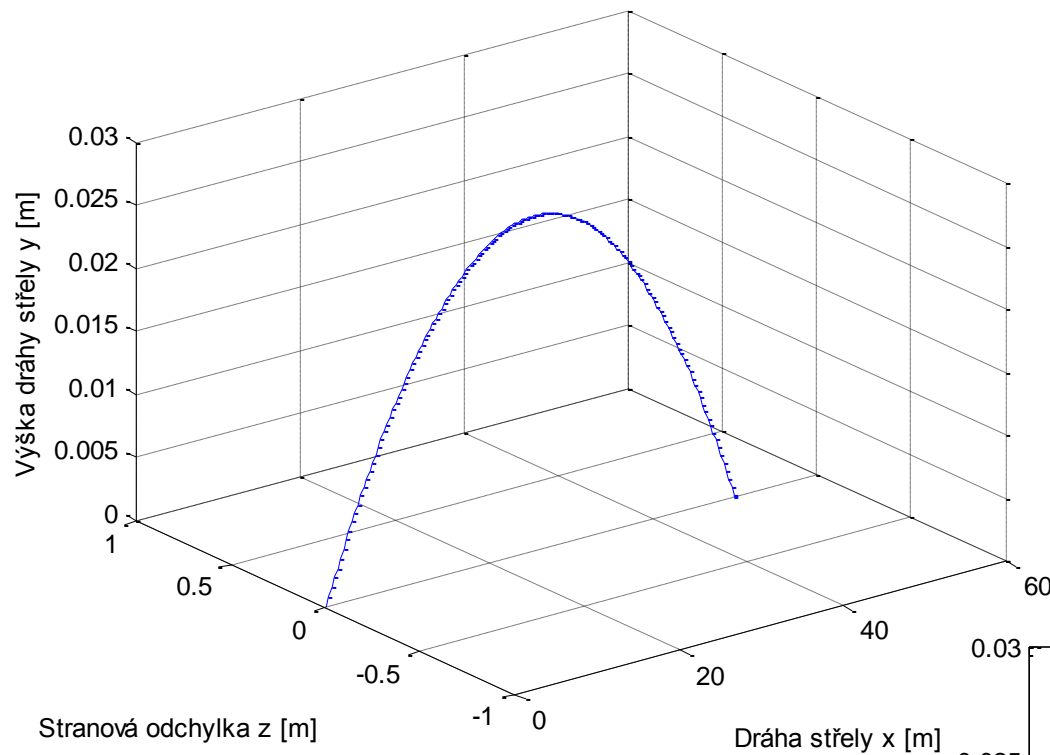
$\text{doba_letu} = 2.20242\text{e}+001 \text{ s}$

$\text{uhel_doletu} = -7.17\text{e}+001 \text{ deg}$

$\text{dopadova_rychlost} = 8.39\text{e}+001 \text{ ms}^{-1}$



CZ 85 – střelba na vzdálenost 50 m



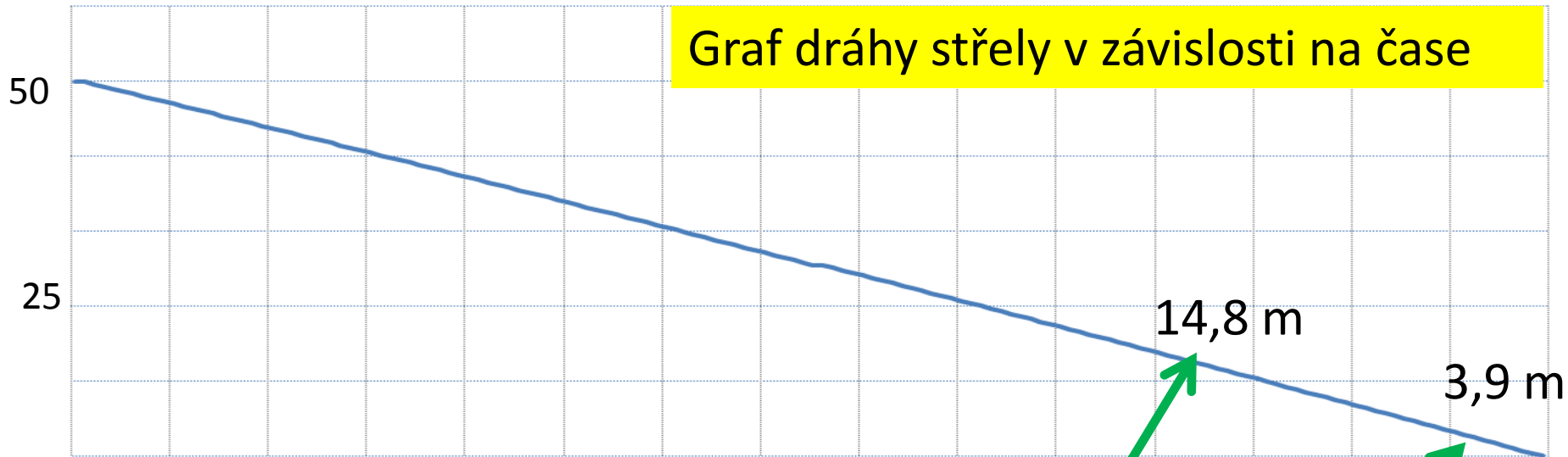
$c_{43} [\text{m}^2/\text{kg}] = 14,5$
 $v_0 [\text{m/s}] = 360$
 $\text{Theta}_0 [\text{deg}] = 0.1175$

dostrel = 50 m
vrchol 2.66×10^{-2} m
doba_letu = 1.47×10^{-1} s
uhel_doletu = -1.26×10^{-1} deg
dopadova_rychlost = 3.229×10^2 ms⁻¹

Spojení vnitřní a vnější balistiky



Graf dráhy střely v závislosti na čase



CYKLOGRAM

Pohyb

Činnost

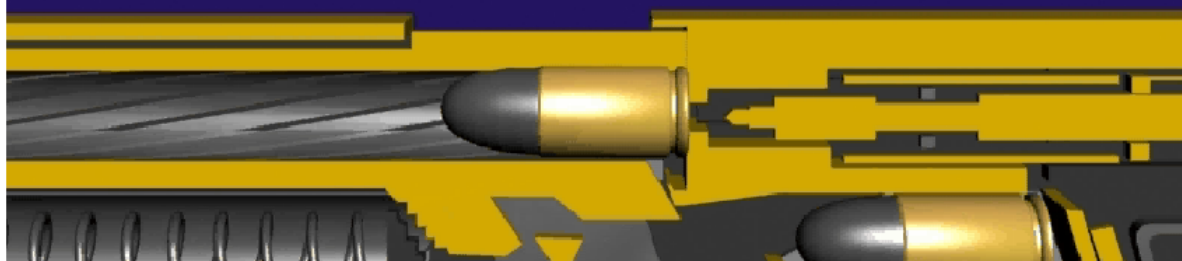
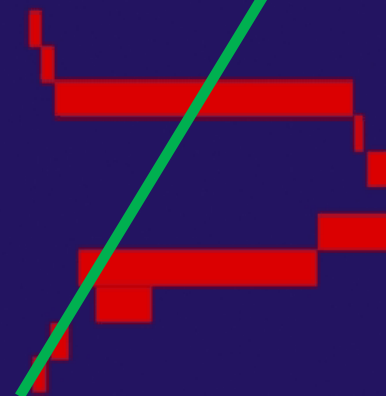
Dráha

vzad

podkluz
odemčení
vytažení
vyhození
podání

vpřed

podání
zasouvání
předeptnutí BM
uzamčení
podkluz



Ukázka otázek do testu z T9

- **Počáteční rychlost v_0**
 - a) je smluvní (interpolovaná) rychlost střely na ústí hlavně
 - b) rychlost střely na ústí hlavně určená vnitrobalistickým výpočtem
 - c) rychlost střely při maximálním tlaku v hlavni

- **Balistický koeficient střely (z hlediska požadavku maximálního dostřelu)**
 - a) je tím lepší, čím je menší ráže a větší hmotnost střely
 - b) je tím lepší, čím je větší ráže a menší hmotnost střely
 - c) je tím lepší, čím je větší menší ráže a menší hmotnost střely

$$c = \frac{id^2}{m_q} 10^3 \quad a_R = c \frac{p}{p_{0N}} F(v_\tau)$$